

# KI für digitale Forschungsassistenten

## Mathematik, Biologie, Robotik: zu neuen Horizonten mit Künstlicher Intelligenz

Von Wolfgang Wahlster

Im Alltag wird KI bisher hauptsächlich bei der Internetsuche mit Chatbots wie Siri oder Alexa und für die Sprachübersetzung genutzt. Zunehmend übernimmt sie jetzt auch wissenschaftliche Assistenzaufgaben in Forschungslaboren.

**K**onrad Zuse konnte 1941 mit seinem programmierbaren Digitalrechner Z3 einer Gruppe von Wissenschaftlern in Berlin erstmals einen funktionierenden Computer demonstrieren. Damit war eine Grundvoraussetzung für Künstliche Intelligenz (KI) geschaffen: beim Menschen zu beobachtendes zielorientiertes Verhalten zur Lösung komplexer Aufgaben maschinell zu realisieren. Zuse leistete schon sehr früh erste Beiträge zur KI. Er publizierte 1948 das weltweit erste Schachprogramm in dem von ihm entwickelten Plankalkül als einem Vorläufer logischer Programmiersprachen. Auch viele andere Informatik-Pioniere wie Alan Turing, Claude Shannon, und Norbert Wiener nutzten das Computerschach als eine Art „Drosophila der KI“ – weit vor Prägung des Begriffs „Artificial

Intelligence“ durch John McCarthy im Jahr 1956.

Nachdem 1997 der Schachweltmeister Garri Kasparow erstmals vom KI-System Deep Blue geschlagen worden war, wandte sich die Forschung dem strategischen Brettspiel Go zu. Bereits 2016 unterlag der mehrfache Go-Weltmeister dem KI-System AlphaGo. Inzwischen besiegen KI-Systeme die Weltbesten in allen bekannten Brett- und Kartenspiel-Disziplinen, darunter Backgammon (1979), Dame (1994) und sogar Poker (2017). Geht es jedoch um die allgemeine Alltagsintelligenz, dann erreichen solche Systeme nicht einmal das Niveau eines Kleinkindes.

Ich empfinde es als einzigartiges Privileg, dass ich Konrad Zuse als Vater des Computers ebenso wie John McCarthy als Vater der KI in mehreren

persönlichen Fachgesprächen kennenlernen konnte. 2010 durfte ich sogar den Festvortrag bei der Feier zum hundertsten Geburtstag von Zuse halten. In keiner anderen modernen Wissenschaft wäre es ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhundert innerhalb eines einzelnen Forscherlebens möglich gewesen, das Entstehen einer völlig neuen wissenschaftlichen Disziplin vollständig zu erleben und bis zu seiner aktuellen Blüte aktiv mitzugestalten. In Deutschland haben wir 1975 die Fachgruppe KI in der Gesellschaft für Informatik gegründet, die 1982 auch den ersten Präsidenten der neu gegründeten europäischen KI-Vereinigung (ECCAI, heute EurAI) stellte.

In den Grundlagen der KI sind deutsche Forscher seit mehr als 40 Jahren im Bereich der Automatisierung des formalen Beweisens, der Handlungsplanung, des Verstehens und der Generierung von Sprache, des Analysierens von Bildfolgen, der Repräsentation von Wissen und seit etwas mehr als 20 Jahren auch auf dem Gebiet des maschinellen Lernens international sehr anerkannt. Einige zählen zu den besten drei Prozent der KI-Forschungselite und wurden von der weltweiten KI-Fachgesellschaft AAAI mit dem Ehrentitel „AAAI Fellow“ ausgezeichnet.

Deutsche KI-Forscher konnten zudem etliche praktische Durchbrüche erzielen: Mit VAMP schickten sie 1994 das erste vollautonome Auto mit 100 Kilometer pro Stunde über die Autobahn, sie schufen das erste Handy-Dolmetschsystem für Spontansprache, das auch eine Gesprächszusammenfassung erzeugt (VERBMOBIL, 1993–2000), den ersten Unterwasserroboter, der ohne Fernsteuerung autonom eine Pipeline in 300 Meter Tiefe inspizieren kann (FLATFISH, 2013–2017) und



KI ermöglicht die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter in der Fabrik.

©DFKI 2021

### Maschinelles Lernen mit neuronalen Netzen

Ein neuronales Netz ist ein System miteinander verbundener künstlicher Neuronen, die Nachrichten untereinander austauschen. Die Verbindungen haben eine numerische Gewichtung, die während des Trainingsprozesses angepasst wird, sodass das Netzwerk auch bei einem neu zu erkennenden Muster richtig reagiert.

Bereits auf der ersten KI-Konferenz vor sechzig Jahren wurden neuronale Netze vorgestellt, die Ziffern erkennen konnten. Ein Durchbruch gelang mit dem Deep Learning, das auf einer Weiterentwicklung mehrschichtiger neuronaler Netze beruht. Je mehr Schichten ein Deep-Learning-Netz hat, desto mehr kann es abstrahieren und damit auch komplexe Zusammenhänge und subtile Merkmale in den Daten erkennen. Allerdings nimmt mit jeder Schicht auch die erforderliche Rechenleistung für das Training neuer Netze dramatisch zu.

das erste Roboterfußballteam, das achtmal die Weltmeisterschaft im RoboCup gewonnen hat (B-HUMAN, 2009–2021).

Zum weltweiten Exportschlager entwickelten sich industrielle KI-Systeme aus Deutschland. Sie bilden die Basis zur Umsetzung der vierten industriellen Revolution in wandlungsfähigen, cyber-physischen Fabriken für kleine Losgrößen, in denen kollaborative Roboter Hand in Hand mit Facharbeitern in einer Null-Fehler-Produktion hochqualitative Hightech-Produkte klimafreundlich produzieren (Industrie 4.0, seit 2011).

Wenn es um die Anwendung von KI-Methoden in der Wissenschaft geht<sup>1</sup>, liegt es nahe, zunächst die Mathematik als Fundament der Informatik zu betrachten. Hier haben sich KI-basierte Assistenzsysteme längst etabliert. Die einfachste Aufgabe sind sogenannte Beweisprüfer, die in der Lage sind, Fehler in von Mathematikern erdachten Beweisen zu finden. Selbst in weit verbreiteten Mathematik-Lehrbüchern ließen sich damit formale Fehler aufspüren. Beispiele für bedeutende mathematische Beweise, die durch interaktive Theorembeweiser mithilfe von KI-Methoden überprüft und bestätigt wurden, sind der Beweis des Vier-Farben-Satzes sowie der formalisierte Beweis der Keplerschen Vermutung. Für die Prädikatenlogik erster Ordnung gibt es zahlreiche KI-Systeme, die vollautomatisch Beweise finden können. Sie stammen überwiegend aus Frankreich, England, Deutschland und den USA.

In der Mathematik ist das Beweisen einer Behauptung nicht unbedingt die schwierigste Aufgabe. Diffiziler ist es häufig, spannende Behauptungen aufzustellen, die es zu beweisen gilt oder neue Strategien und Zusammenhänge zu finden, mit denen neuartige Ansätze für bislang unbewiesene Theoreme möglich werden. Dies glückte 2021 zum ersten Mal, und zwar in der Knotentheorie, einem theoretischen Teilgebiet der mathematischen Topologie. Mithilfe eines KI-Systems entdeckten Wissenschaftler eine überraschende Verbindung zwischen algebraischen und geometrisch invarianten Knoten, wodurch ein völlig neues mathematisches Theorem etabliert werden konnte. Das KI-System hat dabei eine neue Vermutung formuliert, die dann von Mathematikern als korrekt bestätigt wurde.

### Offene Fragen der KI-Forschung

Das grundlegende Problem der KI, Systeme mit „gesundem Menschenverstand“ zu erschaffen, ist bis heute nicht gelöst. Benannt hatte es bereits der Gründer der KI, John McCarthy, im Jahr 1958. Viel Grundlagenforschung ist auch beim maschinellen Lernen noch erforderlich, etwa wenn es um das Lernen aus sehr kleinen Datenbeständen geht oder das Erkennen von Korrelationen ohne Kausalzusammenhang und die meist fehlende intuitive Erklärbarkeit der Lösungen. Die Realisierung von Systemen mit Langzeitautonomie, die über mehrere Jahre eine vorgegebene Zielsetzung konsequent allein erfolgreich verfolgen können und eine mit sozialer und emotionaler Intelligenz ausgestattete Team-Robotik zählen zu den großen Herausforderungen der nächsten Dekade. In ihr gilt es auch, die Potenziale von Quanten-Coprozessoren auszuschöpfen. Wichtig ist aber auch die Klärung ethischer und gesellschaftlicher Fragen im Zusammenhang mit autonomen Waffensystemen oder dem Training von Systemen für die Personalauswahl oder die Justiz auf der Basis diskriminierender personenbezogener Daten.

Im Jahr 2021 konnte für die Bioinformatik mit dem KI-System AlphaFold<sup>2</sup> ein Durchbruch erzielt werden. Damit ist die Lösung des seit fünfzig Jahren offenen Proteinfaltungsproblems einen riesigen Schritt näher gerückt. Die Vorhersage der dreidimensionalen Struktur eines Proteins allein auf der Grundlage seiner Aminosäuresequenz ist ein Meilenstein in der Forschung, der nur durch die Nutzung von KI möglich wurde. Erreicht wurde er durch Deep-Learning-Methoden mithilfe einer



öffentlich verfügbaren Proteindatenbank in Kombination mit physikalischem und geometrischem Wissen. Da Proteine bei allen wichtigen Prozessen des Lebens eine Rolle spielen, wird dieses KI-basierte Assistenzsystem in der zukünftigen medizinischen und pharmazeutischen Forschung eine wichtige Rolle spielen.

Auch bei der Erforschung der Tiefsee und des Weltraums spielt die KI eine entscheidende Rolle, denn nur robotische Systeme können in diesen für den Menschen toxischen Umgebungen Forschungsdaten ermitteln und wissenschaftliche Experimente durchführen. Unterwasser- und Weltraumroboter müssen besondere Herausforderungen meistern, da sie keine realzeitfähigen Funkverbindungen, keine externe Energieversorgung und keine genauen Navigationskarten haben. Daher bauen diese Roboter eigene Karten ihrer Umgebung auf, in denen sie sich selbst lokalisieren können. Sie schätzen auch ihre eigenen Energiereserven kontextabhängig ein und passen ihre Pläne der aktuellen Situation selbstständig an. In den nächsten Jahren werden wir mehr gemischte Teams von Robotern erleben, die ihre unterschiedlichen Fähigkeiten zur Lösung einer gemeinsamen Forschungsaufgabe kombinieren können.

Als KI-Forscher muss man aber immer wieder vor selbst ernannten KI-Experten und Singularitätspropheten warnen, die eine dem Menschen überlegene Superintelligenz vorhersagen und damit die Angst vor der Unterwerfung der Menschheit durch KI-Systeme schüren. Solche Schreckensvisionen entbehren jeder Grundlage. Die aktuelle Forschung zielt vielmehr darauf ab, eine die menschliche Intelligenz unterstützende oder auch komplementäre maschinelle Intelligenz zu entwickeln. Auf diese Weise können menschlicher und maschineller Intellekt zusammenwirken, um der Lösung der größten Probleme der Menschheit näher zu kommen.

Der am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz entwickelte autonome Marsforschungsroboter Sherpa beim Training in der Wüste von Marokko. ©DFKI 2019



© Jim Rakete

#### Zum Autor

Wolfgang Wahlster ist Informatik-Professor und Gründungsdirektor des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz. Er ist Altpräsident der GDNÄ und erhielt vom Bundespräsidenten den Deutschen Zukunftspreis sowie das Große Verdienstkreuz. Seine Spezialgebiete sind Sprachdialogsysteme und KI für Industrie 4.0.